



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

# **SNIŽOVÁNÍ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI VĚTRÁNÍ V BUDOVÁCH**

ENERGY CONSERVATION IN VENTILATION OF BUILDINGS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**ONDŘEJ SLÁČÍK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. PAVEL CHARVÁT, Ph.D.**

BRNO 2013



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2012/13

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Ondřej Sláčík

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Snižování energetické náročnosti větrání v budovách**

v anglickém jazyce:

#### **Energy conservation in ventilation of buildings**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Větrání se výraznou měrou podílí na celkové energetické náročnosti provozu budov. Existuje celá řada provozních a technických opatření jak energetickou náročnost větrání snížit. Hlavním trendem ve snižování spotřeby energie spojené s výměnou vzduchu v budovách je zvyšování vzduchotěsnosti budov ve spojení s řízeným větráním (motto: „Build tight, ventilate right.“). Mezi další důležitá opatření patří především eliminace zdrojů škodlivin vedoucí ke snížení potřebného množství vzduchu pro větrání a různé způsoby zpětného získávání tepla.

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je provést rešerši různých způsobů snižování energetické náročnosti větrání v budovách a provést jejich hodnocení jak z hlediska přínosu pro snížení spotřeby energie tak z hlediska jejich vhodnosti a použitelnosti pro různé typy budov.

Seznam odborné literatury:

Székyová, M., Ferstl, K., Nový, R., Větrání a klimatizace. JAGA GROUP, s.r.o. Bratislava 2006.

CHYSKÝ, J., HEMZAL, K., Větrání a klimatizace, Technický průvodce, svazek 31, Praha 1993.

Martin W Liddament, A Guide to Energy Efficient Ventilation, The Air Infiltration and Ventilation Center, 1996

ASHRAE handbooks

AIVC Technical notes

Články v odborných časopisech a sbornících konferencí zabývají se problematikou energeticky úsporného větrání budov.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Charvát, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.


V Brně, dne 20.11.2012



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu



L.S.



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá různými způsoby větrání budov, zejména snižováním energetické náročnosti větrání. První část je zaměřena na faktory, které ovlivňují kvalitu vnitřního prostředí. Ve druhé části jsou uvedeny pojmy z oblasti větrání a základní rozdělení různých způsobů větrání. Další část se zabývá především tepelnými ztrátami spojenými s větráním. V poslední části jsou řešena různá opatření, která vedou ke snížení energetické náročnosti větrání, jedná se především o řízené větrání na základě koncentrace CO<sub>2</sub> a zpětné získávání tepla.

## Klíčová slova

větrání budov, kvalita vnitřního prostředí, tepelné ztráty, zpětné získávání tepla, tepelný výměník, řízené větrání, oxid uhličitý

## Abstract

This bachelor's thesis deals with various forms of building ventilation, especially energy conservation in ventilation. The first part focuses on the factors that influence the quality of indoor environment. The second section describes the concepts of ventilation and basic distribution of different ventilation methods. Another section deals with heat losses associated with ventilation. The last part deals with the various measures that leads to reduction of energy losses of ventilation, it is mainly controlled ventilation based on CO<sub>2</sub> and heat recover.

## Key words

building ventilation, indoor environmental quality, heat losses, heat recovery, heat exchanger, controlled ventilation, carbon dioxide

## Bibliografická citace

SLÁČÍK, O. *Snižování energetické náročnosti větrání v budovách*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 40 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Charvát, Ph.D.

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením Ing. Pavla Charváta, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2013

.....

Ondřej Sláčík

## Poděkování

Děkuji tímto Ing. Pavlu Charvátovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.





## OBSAH

1 ÚVOD.....	11
2 ÚČEL VĚTRÁNÍ .....	12
2.1 TEPELNÝ STAV PROSTŘEDÍ .....	12
2.1.1 Teplota vzduchu .....	12
2.1.2 Vlhkost vzduchu .....	13
2.1.3 Rychlost proudění vzduchu .....	13
2.2 ŠKODLIVINY.....	14
2.2.1 Odéry .....	14
2.2.2 Toxické plyny .....	15
2.2.3 Oxid uhličitý .....	17
3 VĚTRÁNÍ.....	18
3.1 PŘIROZENÉ VĚTRÁNÍ.....	18
3.1.1 Infiltrace .....	18
3.1.2 Provětrávání .....	19
3.1.3 Aerace .....	19
3.1.4 Šachtové větrání .....	19
3.2 NUCENÉ VĚTRÁNÍ .....	20
3.2.1 Podtlakové větrání.....	20
3.2.2 Rovnotlaké větrání .....	20
3.2.3 Přetlakové větrání.....	21
4 VĚTRÁNÍ A SPOTŘEBA ENERGIE.....	22
4.1 TEPELNÉ ZTRÁTY VĚTRÁNÍM.....	22
4.2 VLIV PODNEBÍ .....	23
4.3 VZDUCHOTĚSNOST BUDOVY .....	23
4.3.1 Měření vzduchotěsnosti .....	24
4.4 ŘÍZENÉ VĚTRÁNÍ NA ZÁKLADĚ KONCENTRACE CO <sub>2</sub> .....	25
4.5 JEDNOTKY S REKUPERAČNÍM VÝMĚNÍKEM .....	26
4.5.1 Trubkové rekuperační výměníky.....	27
4.5.2 Deskové rekuperační výměníky .....	27
4.5.3 Tepelné trubice .....	28
4.5.4 Výměníky s kapalinovým okruhem .....	29
4.5.5 Tepelná čerpadla .....	29
4.6 JEDNOTKY S REGENERAČNÍM VÝMĚNÍKEM .....	30
4.6.1 Rotační výměníky .....	31
4.6.2 Přepínací výměníky .....	31
4.6.3 Membránové výměníky .....	32
4.7 FILTRACE VZDUCHU .....	32
5 ZÁVĚR .....	34
Seznam použitých informačních zdrojů .....	36
Seznam použitých symbolů a zkratk .....	38

---

Seznam obrázků	.....	39
Seznam tabulek	.....	40

## 1 ÚVOD

Kvalitní vzduch je pro život člověka nepostradatelný. Vzhledem k tomu, že většinu života trávíme v domech, bytech či jiných uzavřených prostorech je pro nás velice důležité, aby i tyto prostory byly dostatečně větrané, vzduch čistý a pobyt v nich příjemný. Zabezpečit výměnu vzduchu v pravidelných intervalech však není jednoduché, obzvláště v dnešní době, kdy je trendem domy tepelně izolovat, dokonale utěsnit a snižovat tak jejich energetické nároky. Zejména v zimních měsících je každému líto přivádět do vyhřátých místností studený vzduch, důsledkem toho jsou však zvýšené koncentrace škodlivin či vysoká relativní vlhkost vzduchu.

Evropský parlament a Rada EU schválili směrnici 2010/31/EU o energetické náročnosti budov, která byla implementována do českého právního řádu zákonem 318/2012 Sb. Tento zákon stanovuje za povinnost, aby nové veřejné budovy od roku 2018 a od roku 2020 všechny budovy měly „nulovou spotřebu energie“. Toho ovšem nepůjde dosáhnout, pokud nebude systematicky a energeticky nenáročně řešeno i větrání budov.

Proto bych se chtěl v mé práci zabývat zařízeními či postupy, které jsou schopny vyřešit konflikt mezi větráním a tepelnou ztrátou vzniklou v důsledku tohoto procesu.

## 2 ÚČEL VĚTRÁNÍ

Charakter ovzduší pocítí člověk při prvním vstupu do domu nebo místnosti. Příjemný vzduch je tedy velice důležitým faktorem pro zajištění pohody člověka. V kvalitním ovzduší se zvyšuje pracovní výkonnost, nebo na druhou stranu se zajišťuje lepší regenerace. [3]

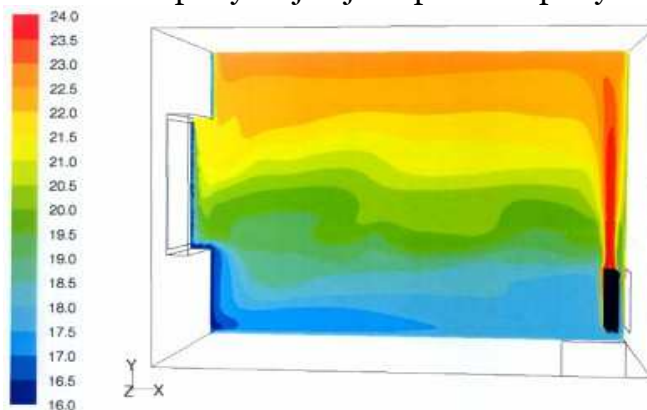
Člověk při metabolismu produkuje teplo a látky, jako jsou vodní pára,  $\text{CO}_2$  a mnoho dalších. Je velice důležité udržovat optimální teplotu v prostředí a zajistit tak tepelnou pohodu. Stav tepelné pohody je dosaženo, pokud je teplo, které člověk vyprodukuje v těle, odvedeno do okolního prostředí, aniž by došlo k výrazným zásahům termoregulačních mechanismů lidského těla (vazokonstrikce, vazodilatace, mokré pocení). Další důležitou věcí je udržení koncentrace škodlivých látek v ovzduší na přijatelné úrovni. Všechny tyto faktory a mnohé další ovlivňují kvalitu vnitřního prostředí. [3]

### 2.1 Tepelný stav prostředí

Větrání primárně slouží k zajištění požadované kvality vzduchu, nicméně ovlivňuje i tepelný stav prostředí. Faktory ovlivňující tepelný stav prostředí jsou čtyři: teplota vzduchu, střední radiační teplota, rychlost proudění vzduchu a vlhkost vzduchu.

#### 2.1.1 Teplota vzduchu

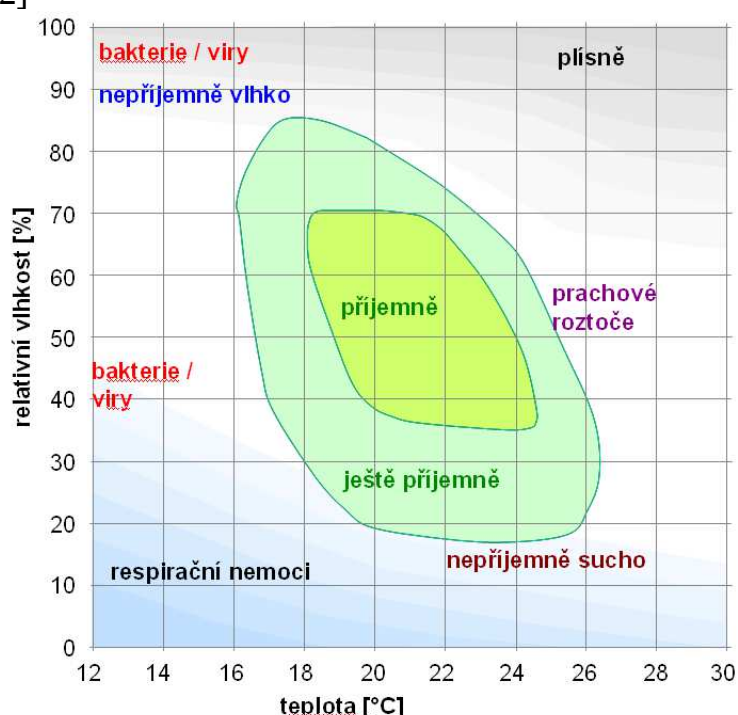
Teplota vzduchu se na tepelné pohodě prostředí podílí společně s dalšími uvedenými činiteli, a proto lze dosáhnout stavu tepelné pohody prostředí při různých teplotách vzduchu. Pro mírné klima ve střední Evropě se udává za nejvhodnější teplotu pro sedícího člověka, který je vhodně oblečen a nevykonává fyzicky náročnou práci, teplota vzduchu  $18\text{--}22^\circ\text{C}$  v zimním období a  $23\text{--}25^\circ\text{C}$  pro letní období. Teplota vzduchu není stejná v celé místnosti, zejména vertikální rozložení teplot se při klasických způsobech vytápění výrazně liší, což můžeme sledovat na Obr. 1. Pro zajištění tepelné pohody je nezbytné, aby toto rozložení teplot nebylo větší než  $2^\circ\text{C}$  u člověka, který stojí a  $1,5^\circ\text{C}$  u sedícího člověka. Na tepelnou pohodu má také vliv střední radiační teplota okolních ploch, které člověka obklopují. Střední radiační teplota má při ochlazování jedince přibližně stejný efekt jako teplota vzduchu, protože člověk vnímá pokles radiační teploty stejně jako pokles teploty vzduchu. [1], [7]



Obr. 1 Vertikální rozložení teplot v místnosti [18]

## 2.1.2 Vlhkost vzduchu

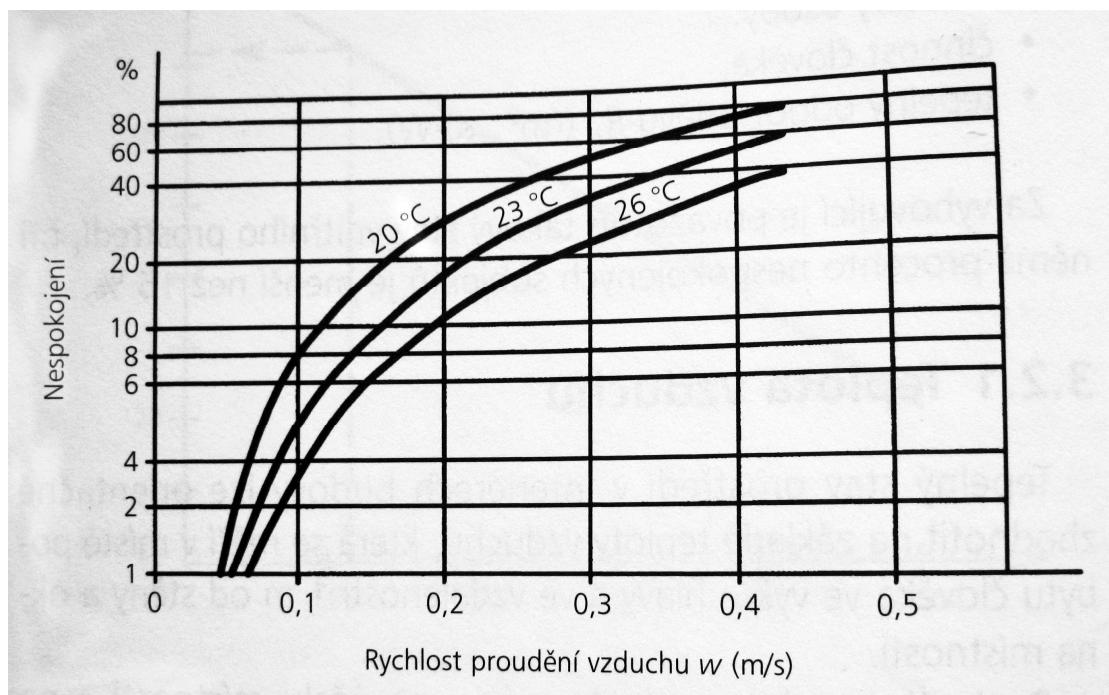
Relativní vlhkost vzduchu je úzce spojena s teplotou vzduchu, tuto závislost vyjadřuje Mollierův h-x diagram. Vlhkost vzniká v důsledku pobytu osob v místnosti, ale také z celé řady jiných činností, jako jsou vaření, sprchování, sušení prádla, atd. Nadměrná vlhkost obvykle vede ke kondenzaci vodních kapek na chladných površích, což může významně zkrátit životnost stavebních konstrukcí. Dalším důsledkem zvýšené vlhkosti je nárůst výskytu plísní a drobných roztočů, které vedou ke zvýšené nemocnosti lidí pobývajících v takových prostorách. Na druhou stranu příliš nízká vlhkost pod 30 % zvyšuje prašnost v místnostech, vede k nepříjemnému vysychání sliznic a k větší náchylnosti k nachlazení. Na Obr. 2 můžeme sledovat pásma teplot a relativních vlhkostí, které jsou pro člověka pocitově příjemné a zároveň zdravotně nezávadné.[1], [2]



Obr. 2 Vliv teploty a vlhkosti [2]

## 2.1.3 Rychlost proudění vzduchu

Další významnou složkou pro vytvoření pohody prostředí je rychlost proudění vzduchu. Člověk je velice citlivý na proudění vzduchu, a to zejména na vzduch, který má nižší teplotu, než je teplota vzduchu v místnosti. Rychlost proudění vzduchu je dána hygienickými směrnicemi. Při teplotách 19 – 21 °C je optimální rychlost proudění vzduchu 0,1 – 0,15 m.s<sup>-1</sup>. S narůstající teplotou se zvyšuje i rychlost proudění, např. při teplotě 26 °C je přijatelná rychlost proudění až 0,4 m.s<sup>-1</sup>. Při překročení těchto hodnot se člověk může cítit nepříjemně a vnímat proudění vzduchu jako průvan. Nicméně každý člověk pociťuje rychlost proudění vzduchu odlišným způsobem, na Obr. 3 můžeme sledovat závislost procenta nespokojených uživatelů na rychlosti proudění vzduchu. [7]



Obr. 3 Grafická závislost procenta nespokojených uživatelů na rychlosti proudění vzduchu [7]

## 2.2 Škodliviny

Škodliviny jsou veškeré látky nacházející se v ovzduší, které mohou poškodit zdraví člověka, nebo jinak ovlivňují např. životnost staveb, nebo negativně působí na technologické postupy v průmyslu. [7]

### 2.2.1 Odéry

Jsou to látky, které se nacházejí v ovzduší a vnímáme je jako pachy. Jedná se o produkty spojené s lidskou činností. Odéry můžeme rozdělit podle Zwaardemakerovy stupnice na pět základních typů:

- éterické (lidské pachy)
- aromatické (pachy z rozkládajícího se zralého ovoce)
- izovalerický (pach z kouření tabáku, pach z potu)
- zažluklý (pachy mlékárenských výrobků)
- narkotický (pachy rozkládajících se proteinů, vůně tabáku)

Odéry tedy vznikají důsledku činnosti člověka uvnitř budovy, ale také mohou vstupovat do objektu z vnějšího prostředí. I když tyto látky přímo neohrožují zdraví člověka, je potřeba tyto plyny odvětrávat, podle Pattenkoferova normativu je požadována hodnota 25 m<sup>3</sup>/hod čerstvého vzduchu na osobu pro odvětrání běžných tělesných pachů. Dalším způsobem jak snížit koncentraci těchto látek ve vzduchu jsou např. pokojové rostliny, které některé látky odbourávají. [2], [7]

Pro odéry jsou stanoveny tzv. prahové koncentrace, jedná se o koncentrace, které jsou identifikovatelné čichovým orgánem. Nejčastější druhy odérů a jejich prahové koncentrace, které se vyskytují v interiéru budov, jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 Prahové koncentrace odérů [7]

Odérová látka	Koncentrace		
	ppm	mg/l	mg/m <sup>3</sup>
tetrachlormetan	0,0440000	70,000000	44,0000
amoniak	0,3480000	50,000000	34,8000
chlor	0,0102000	3,500000	10,2000
akrolein	0,0041200	1,800000	4,1300
amylacetát	0,0053300	1,000000	5,3300
pyridin	0,0008100	0,250000	0,8100
sirovodík	0,0006220	0,200000	0,6220
ozon	0,0000982	0,050000	0,0982
organické sirníky	-	0,005555	-
vanilinová esence	-	0,000080	-
pižmo	-	0,000004	-

Zápachy výraznou měrou ovlivňují kvalitu vnitřního ovzduší, nicméně objektivní posuzování zápachu podle koncentrace je velice obtížné, proto se stupeň lidských zápachů v budovách posuzuje podle koncentrace CO<sub>2</sub>, který je úzce spojen s lidskou činností. [7]

## 2.2.2 Toxické plyny

Nejvýznamnějšími toxickými plyny vyskytujícími se v obytných či pracovních prostorách jsou oxidy síry SO<sub>x</sub>, oxidy dusíku NO<sub>x</sub>, oxid uhelnatý CO, ozón O<sub>3</sub> a radon Rn. Tyto plyny se nejčastěji dostávají do vnitřního prostředí z vnějšku. Oxid uhelnatý vzniká při nedokonalém spalování fosilních paliv nebo např. při kouření. Oxidy dusíku se vyskytují v kuchyních při vaření na plynových sporácích. Radon vzniká v půdě nebo v podlazi pod obytnými domy, difunduje k povrchu a do atmosféry, přičemž se dostává i do obytných prostor. Radon je radioaktivní plyn, který pro člověka škodlivý není, ovšem produkty jeho přeměny, především polonium, jsou původci velice závažných onemocnění např. rakoviny plic. [2]

Dalšími nebezpečnými látkami jsou formaldehyd, styren a různé směsi organických látek. Tyto látky vznikají ve vnitřních prostorách uvolňováním ze stavebních konstrukcí, nebo z vybavení domácnosti, např. nábytek, tkaniny, plastické hmoty a jiné. [2], [7]

Koncentrace zmíněných a dalších látek je důležité kontrolovat, a to zejména v pracovním prostředí, jako jsou výrobní haly, kde je riziko překročení limitů vysoké. Nejvyšší povolené koncentrace jsou uvedeny v Tab. 2. Tyto koncentrace určují vládní nařízení, a to nařízení vlády č. 178/2001 a nařízení vlády č. 523/2002. Tyto dokumenty nově definují hodnoty PEL a NPK-P.

- „PEL – přípustný expoziční limit, tj. celosměnově vážený průměr koncentrací plynů, par nebo aerosolů v pracovním ovzduší, jimiž mohou být podle současného stavu znalostí vystaveni zaměstnanci při osmihodinové pracovní době, aniž by u nich došlo i při celoživotní expozici k poškození zdraví. PEL

platí za předpokladu, že zaměstnanec je zatěžován prací, při které jeho průměrná plicní ventilace nepřekračuje 20 l/min.

- NPK-P – nejvyšší přípustná koncentrace chemické látky v pracovním ovzduší. Je to koncentrace, které nesmí být zaměstnanec vystaven v žádném přípustném časovém úseku pracovní směny.“ (7, str. 30)

Tab. 2 Přípustné expoziční limity a nejvyšší přípustné koncentrace chemických látek v ovzduší pracovišť dle Nařízení vlády č. 178/2001 Sb. [7]

Poř. čís.	Látka	PEL [mg/m <sup>3</sup> ]	NPK-P [mg/m <sup>3</sup> ]	Faktor přepočtu na ppm	Poř. čís.	Látka	PEL [mg/m <sup>3</sup> ]	NPK-P [mg/m <sup>3</sup> ]	Faktor přepočtu na ppm
1	acetaldehyd	50	100	0,555	34	chlorovodík	8	15	0,679
2	aceton	800	1500	0,421	35	chrom	0,05	0,1	-
3	acetonitril D	70	100	0,595	36	kobalt	0,05	0,1	-
4	amoniak	14	36	1,438	37	krezol	20	40	0,226
5	amylacetát	270	540	0,188	38	kyanovodík	3	10	0,905
6	amylalkohol	300	600	0,278	39	kyselina octová	25	35	0,408
7	Anilin	5	10	0,263	40	kyselina sírová	1	2	-
8	Arzen	0,1	0,4	-	41	mangan	1	2	-
9	arzenovodík	0,1	0,1	0,313	42	metylalkohol	250	100	0,754
10	benzen	3	10	0,313	43	metylchlorid	100	200	0,484
11	benziny technické	400	1000	-	44	nitrobenzen	5	10	0,199
12	beryllium	0,001	0,002	-	45	nitrochlorbenzen	5	10	-
13	butylalkohol	300	600	0,33	46	nitrozní plyny	10	20	0,532
14	cyklohexanol	200	400	0,244	47	olovo	0,05	0,2	-
15	cyklohexylamin	20	40	0,247	48	oxid kademnatý	0,1	0,5	-
16	dinitrobenzen	1	2	0,145	49	oxid siřičitý	5	10	0,382
17	dinitrochlorbenzen	1	2	0,145	50	oxid sírový	1	2	0,306
18	dusičnan sodný	1	5	-	51	oxid uhličitý	900	45000	0,556
19	etylacetát	700	900	0,278	52	oxid uhelnatý	30	150	0,873
20	etylalkohol	1000	3000	0,532	53	sloučeniny olova	0,05	0,2	-
21	etylbenzen	200	500	0,23	54	ozon	0,1	0,2	0,509
22	etylhexanal	200	400	0,191	55	rtuť	0,05	0,15	0,121
23	Fenol	7,5	15	0,26	56	selenovodík	0,07	0,17	0,302
24	Fluor	1,5	3	0,643	57	sirouhlík	10	20	0,322
25	fluorovodík	1,5	205	1,223	58	sírovodík	10	20	0,719
26	formaldehyd	0,5	1	0,814	59	styren	100	400	0,235
27	fosfor (bílý, žlutý)	0,1	0,3	0,197	60	tetrachloretylen	250	1750	0,147
28	fosforovodík	0,1	0,2	0,719	61	tetrachlormetan	10	200	0,159
29	fosgen	0,08	0,4	0,247	62	toluen	200	500	0,266
30	Chlor	1,5	3	0,344	63	trichloretylen	250	750	0,186
31	chlorbenzen	40	90	0,217	64	trinitrotoluen	-	0,5	0,108
32	chloroform	10	20	0,205	65	vanad dým	0,1	0,3	-
33	chloropren	10	20	0,276	66	vanad - prach	0,05	0,15	-



Nejjednodušším řešením při odstranění těchto plynů je větrání, popřípadě filtrace aktivním uhlím nebo ionizace vzduchu, tyto metody jsou ovšem finančně velmi nákladné. [7]

### **2.2.3 Oxid uhličitý**

Oxid uhličitý je velmi významnou škodlivinou zejména v nevýrobních prostorách. Jedná se především o bytovou zástavbu, školy, administrativní budovy, divadla či kino sály. Tudiž veškeré uzavřené prostory, kde je vysoký počet lidí na m<sup>2</sup> plochy. Oxid uhličitý je spojen s lidským metabolismem, vydechovaný vzduch při teplotě 34 – 36 °C obsahuje 4 obj. % CO<sub>2</sub> a 5 obj. % vodní páry H<sub>2</sub>O. Přípustná hodnota koncentrace CO<sub>2</sub> je 1000 ppm, pokud je koncentrace vyšší než přípustná hodnota, tak se dostavují příznaky únavy a nesoustředěnosti. Koncentrace CO<sub>2</sub> je poměrně snadno měřitelná, z tohoto důvodu je tedy vhodné navrhovat větrání s ohledem na koncentrace oxidu uhličitého. [7]

### 3 VĚTRÁNÍ

Větrání je výměna vydýchaného a znečištěného vzduchu z vnitřních prostor za vzduch venkovní, který je čerstvý a relativně čistý. K větrání může docházet samočinně vlivem rozdílných tlaků vyvolaných v důsledku rozdílných teplot nebo účinkem větru, což označujeme jako větrání přirozené. Děje se tak v důsledku netěsností stavebních konstrukcí tzv. infiltrací, nebo účelově vybudovanými cestami (šachtové větrání, aerace). Další možností je větrání nucené, kdy vzduch přivádíme nebo odvádíme mechanicky za pomoci ventilátorů. Jak větrání přirozené, tak větrání nucené má své klady ale i zápory, které se pokusím objasnit v následujících kapitolách. [4]

#### 3.1 Přirozené větrání

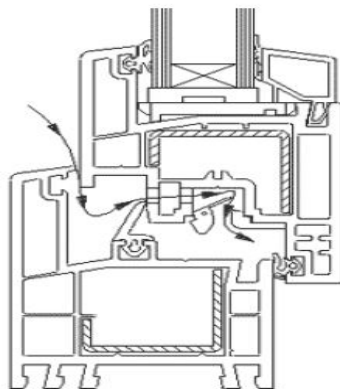
Jedná se o nejjednodušší způsob větrání budov. Jak již bylo zmíněno, k přirozenému větrání dochází samočinně vlivem tlakového rozdílu. Tento rozdíl je vyvoláván dynamickým tlakem větru nebo rozdílnou teplotou vzduchu. Přirozené větrání je proměnlivé a výrazně závisí na podmínkách v okolním prostředí. Jako hlavní výhodu můžeme uvést naprostou nezávislost na dodávkách energie potřebné k dopravě vzduchu. Přirozené větrání má však i řadu nevýhod. Např. dochází k průniku prachu a hluku, není zde možné zpětné získávání tepla a obecně lze říci, že je obtížně regulovatelné. [5],[6]

Přirozené větrání můžeme rozdělit do čtyř skupin:

- Infiltrace
- Provětrávání
- Šachtové větrání
- Aerace

##### 3.1.1 Infiltrace

K infiltraci dochází vlivem tlakového rozdílu, který je způsoben rozdílnou teplotou vzduchu, nebo působením větru. Vzduch proniká netěsnostmi stavebních konstrukcí nebo póry stavebních materiálů. Jedná se především o spáry v oknech a dveřích. Větrání vlivem infiltrace nelze nijak regulovat, proudění vzduchu je nekontrolovatelné. Mezi faktory, které ovlivňují množství vyměňovaného vzduchu, patří především velikost netěsností, orientace budovy a klimatické podmínky. [6], [7]



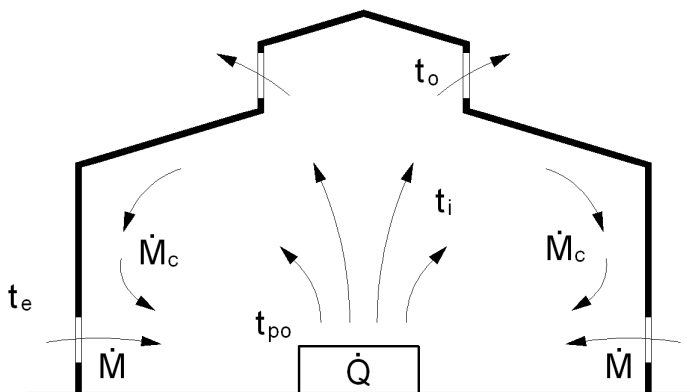
Obr. 4 Pronikání vzduchu spárou okna [19]

### 3.1.2 Provětrávání

Provětrávání provádíme otevřením oken nebo dveří. Jedná se o velice jednoduchý a rozšířený způsob větrání objektů. Při provětrávání ovšem zatěžujeme vnitřní prostředí hlukem, zejména v městských oblastech. Přiváděný vzduch není nijak filtrován ani upravován. [6]

### 3.1.3 Aerace

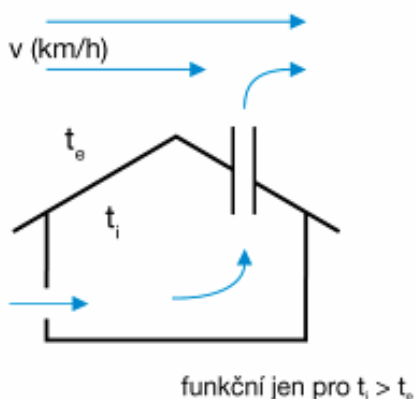
Aerace je velice jednoduchý způsob větrání, který se využívá především v průmyslových objektech s vysokým vývinem tepla. Větrání se provádí otvory, které jsou umístěné v různých výškách. Většinou se jedná o otvory pod střechou haly a otvory v dolní části haly. Vlivem velkých rozdílů teplot vnitřního a venkovního vzduchu vzniká rozdíl tlaků, a tudíž dochází k cirkulaci vzduchu. [6]



Obr. 5 Větrání aerací [20]

### 3.1.4 Šachtové větrání

Větrání probíhá na základě rozdílů teplot vnitřního a venkovního vzduchu obdobně jako u větrání aerací. Vzduch je odváděn šachtou, která je v obytných budovách nejčastěji umístěná ve středu budovy. U průmyslových objektů se šachta nejčastěji nahrazuje plechovým potrubím různých průřezů. Šachtové větrání je velice jednoduché, nicméně nelze použít, pokud je venkovní vzduch teplejší než vnitřní. Při takové situaci chladný odpadní vzduch zůstává v budově a neodchází šachtou ven. [6]



Obr. 6 Šachtové větrání [21]

## 3.2 Nucené větrání

K nucenému větrání dochází mechanicky, vlivem rotace ventilátorů, které vyvolávají tlakový rozdíl. Tyto ventilátory jsou nejčastěji poháněny elektromotory. Z toho vyplývá, že nucené větrání je závislé na dodávce energie. Spotřeba elektrické energie je vzhledem k rostoucím cenám velkou nevýhodou nuceného větrání. Na druhou stranu je zde mnoho výhod, např. můžeme velmi přesně regulovat množství vyměňovaného vzduchu, nebo je do systému možné zabudovat zařízení pro úpravu vzduchu. Jedná se o filtry, chladiče, ohřívače, zvlhčovače nebo výměníky pro zpětný zisk tepla. Podle toho jaké prvky v soustavě použijeme, rozdělujeme systémy na větrání bez úpravy vzduchu, s částečnou úpravou vzduchu a s úplnou úpravou vzduchu. [4],[7]

Další možností jak rozdělit nucené větrání je podle poměru množství přiváděného a odváděného vzduchu. Tento poměr označujeme jako součinitel větrací rovnováhy  $\varepsilon$ . [4],[7]

$$\varepsilon = \frac{\dot{V}_p}{\dot{V}_o} \quad [-] \quad (1.1)$$

kde  $\dot{V}_p$  [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ] *průtok přiváděného vzduchu*  
 $\dot{V}_o$  [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ] *průtok odváděného vzduchu*

Dle hodnoty  $\varepsilon$  tedy rozdělujeme nucené větrání na:

- větrání podtlakové  $\varepsilon < 1$
- větrání rovnotlaké  $\varepsilon = 1$
- větrání přetlakové  $\varepsilon > 1$

Systém větrání volíme dle požadavků na větraný objekt. [4], [7]

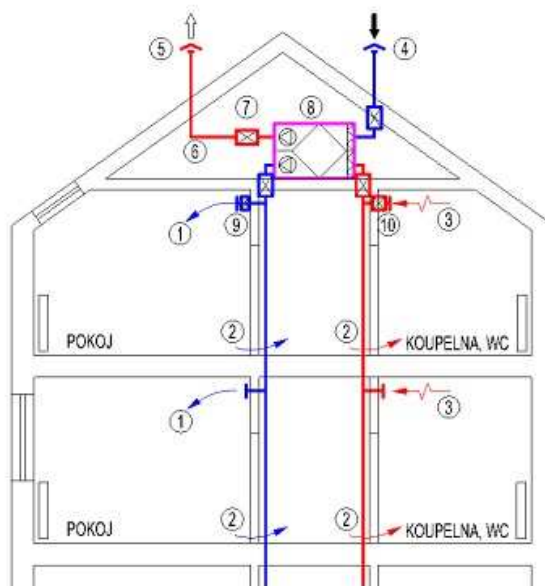
Nucené větrání můžeme také rozdělit na větrání s nuceným přívodem vzduchu, tento způsob větrání se používá především v kabinách dopravních prostředků, a na větrání s nuceným odvodem vzduchu, které se využívá v bytech. Jedná se o větrání koupelen, toalet či kuchyní. U těchto způsobů větrání nelze, nebo jen velmi obtížně, realizovat ZZT, proto je zde významné větrání řízené.

### 3.2.1 Podtlakové větrání

Při podtlakovém větrání je odváděno více vzduchu než přiváděno. V objektu nebo místnosti se vytvoří podtlak, který způsobí, že vzduch je přisáván z venku netěsnostmi nebo k tomu určenými větracími otvory. Tento způsob větrání se zavádí do objektů, kde nechceme, aby znečištěný vzduch pronikal do okolí, např. chemické laboratoře, kuchyně, jídelny. [4], [7]

### 3.2.2 Rovnotlaké větrání

U tohoto způsobu nuceného větrání je množství přiváděného i odváděného vzduchu stejné. Jedná se o nejrozšířenější způsob nuceného větrání, používaný zejména v rodinných domech či administrativních budovách. [4], [7]



Obr. 7 Nucené rovnotlaké větrání vzduchu realizované větrací jednotkou se ZZT [22]

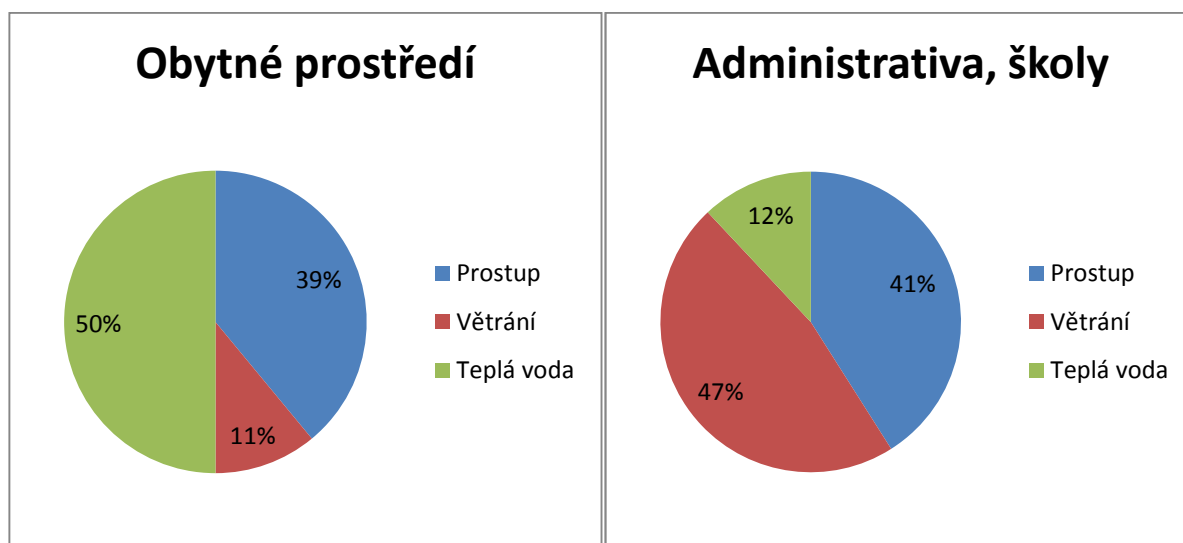
### 3.2.3 Přetlakové větrání

U přetlakového větrání je množství přivedeného vzduchu vyšší než množství vzduchu odvedeného. Vytvořený přetlak zabraňuje vnikání neupraveného vzduchu z okolních prostor.

Přetlakové větrání zavádíme tam, kde požadujeme vysokou čistotu vzduchu, jedná se např. o operační sály nebo laboratoře.

## 4 VĚTRÁNÍ A SPOTŘEBA ENERGIE

Jak již bylo zmíněno, větrání je výměna vnitřního vzduchu, který je znečištěn různými látkami, za venkovní relativně čistý vzduch. Tato výměna je spjata s energetickými ztrátami, a to zejména v zimních měsících. Podle technické zprávy AIVC 57 se odhaduje, že se v zemích OECD spotřebuje přibližně 28 EJ energie v obytných budovách, z toho 12 EJ souvisí s větráním. Výrazně energeticky náročnější, co se týče větrání, jsou ovšem budovy administrativní, nemocnice či školy, viz Obr. 8. V těchto budovách je významně vyšší počet osob na 1m<sup>2</sup>, a tudíž i nároky na objem vyměňovaného vzduchu jsou vyšší. Na druhou stranu je zde velký potenciál ke snížení těchto ztrát. [8]



Obr. 8 Rozdělení spotřeby na energetické systémy spotřebovávající teplo pro střední Evropu[5]

Z tohoto důvodu je nutné, aby se spotřeba energie související s výměnou vzduchu výrazně snížila při zachování dostatečné kvality vnitřního prostředí. Spotřeba energie je závislá na několika faktorech jako např. klimatické podmínky nebo vzduchotěsnost budovy. Velmi výraznou měrou se na spotřebě energie podílí také chování obyvatel. [5], [8]

### 4.1 Tepelné ztráty větráním

Tepelné ztráty větráním jsou dány rovnicí (4.1.)

$$\dot{Q}_e = \dot{V}_p \cdot \rho \cdot c \cdot (t_e - t_i) \quad (4.1)$$

kde	$\dot{Q}_e$	[W]	tepelné ztráty
	$\dot{V}_p$	[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	průtok vzduchu
	$\rho$	[kg m <sup>-3</sup> ]	hustota vzduchu
	$c$	[kg J <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	měrná tepelná kapacita vzduchu
	$t_e$	[°C]	teplota vzduchu odváděného
	$t_i$	[°C]	teplota vzduchu přiváděného

Kladná hodnota  $Q_e$  představuje tepelnou ztrátu, záporná hodnota tepelný zisk. Pro udržení stavu tepelné pohody je třeba udržovat činitele ovlivňující tepelný stav prostředí v určitém rozmezí, to znamená vynakládat energii jak na pokrytí tepelných ztrát, tak i na odvod tepelné zátěže. Pro minimalizaci tepelných ztrát větráním můžeme řídit množství větracího vzduchu. Vyměňovat pouze nezbytné množství vzduchu při zachování adekvátní kvality vnitřního prostředí. Další možností je využití výměníku ZZT, kde dochází k výměně tepla mezi vzduchem odváděným a vzduchem přiváděným. [12]

## 4.2 Vliv podnebí

Podnebí neboli klima je dlouhodobý stav počasí. Při navrhování větracích zařízení je důležité složení, průběh teplot, rychlost proudění a vlhkost vzduchu. Tyto hodnoty závisejí na zeměpisné poloze, nadmořské výšce či vzdálenosti od moře a výrazně ovlivňují množství energie spotřebované při větrání. Je zřejmé, že v chladném podnebném pásu je teplo spotřebované na otápení větraného vzduchu vyšší než v pásmu mírném. A naopak v teplém prostředí jsou vysoké energetické nároky na ochlazování vzduchu, které jsou mnohdy vyšší než energetické nároky na ohřev vzduchu. [5], [7]

## 4.3 Vzduchotěsnost budovy

Vzduchotěsnost je schopnost určitého materiálu nepropouštět vzduch. Aby mohl vzduch materiálem procházet je zapotřebí, aby materiál obsahoval netěsnosti, kterými vzduch projde a dále musí působit na materiál rozdíl tlaku. Každá budova obsahuje netěsnosti, které můžeme rozdělit na záměrné a nechtěné. Jako záměrné netěsnosti můžeme označit např. otvory projektované pro větrací systémy. Co se týče netěsností nechtěných, tak se může jednat o trhliny či spáry, které vznikly nevhodným projektováním či chybou při výstavbě budovy. Nechtěné netěsnosti se snažíme co nejvíce eliminovat, protože způsobují negativní důsledky, jako jsou zvýšená tepelná ztráta budovy, snížená účinnost větracího systému, v krajních případech, kdy jsou netěsnosti velké, může dojít ke snížení kvality vnitřního prostředí vlivem zvýšené rychlosti proudění v budově. [9]

Požadavky budov na vzduchotěsnost jsou dány normou ČSN 73 0540-2. V této normě se hodnotí tzv. celková průvzdušnost budov, která je stanovena jako hodnota  $n_{50}$ . Jedná se o intenzitu výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa. Např. hodnota  $n_{50} = 0,4$  1/hod znamená, že se vyměnilo 40% celkového objemu vzduchu v budově za hodinu. Pro vzduchotěsnost budovy se doporučuje splnit podmínku  $n_{50} \leq n_{50,N}$ . Hodnoty  $n_{50,N}$  v závislosti na typu větrání jsou dány v Tab. 3 [10]

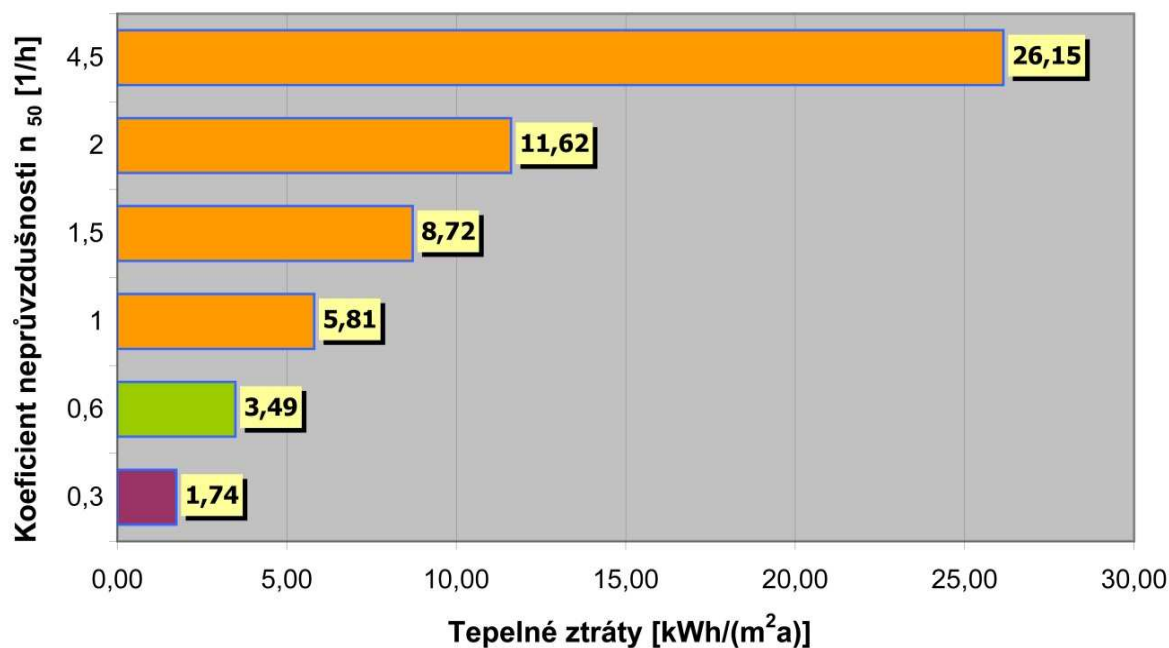
Tab. 3 Doporučené hodnoty  $n_{50,N}$  [10]

Větrání v budově	$n_{50,N}$	$n_{50,N}$
	Úroveň 1	Úroveň 2
Přirozené	4,5	3,0

Nucené	1,5	1,2
Nucené se ZZT	1,0	0,8
Nucené se ZZT, pasivní domy	0,6	0,4

Hodnoty v úrovni 1 se doporučují splnit vždy, nicméně při dosažení nižších hodnot  $n_{50}$  se snižuje riziko poškození konstrukce vlivem intenzivního šíření tepla a vlhkosti, proto se doporučuje splnit úroveň 2. [10]

Jak již bylo zmíněno, netěsnost obálky významně ovlivňuje tepelné ztráty budovy. Na Obr. 9 můžeme sledovat vliv hodnoty  $n_{50}$  na měrných ročních tepelných ztrátách budovy. Z grafu můžeme usoudit, že vliv netěsnosti obálky budovy na tepelné ztráty je významný, tyto ztráty jsou způsobeny přirozeným větráním, konkrétně infiltrací, proto je kvalitně provedená obálka budovy z hlediska snižování energetické náročnosti větrání velice důležitá. Budovu je nutné dobře utěsnit a poté řešit větrání vhodnějším způsobem s menší energetickou náročností.

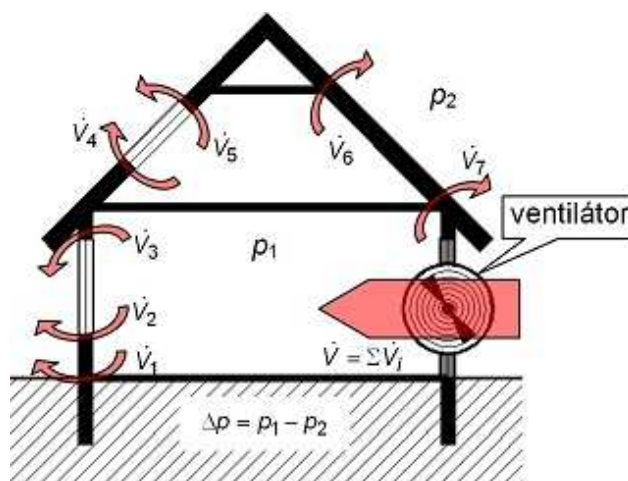


Obr. 9 Vliv hodnoty  $n_{50}$  na tepelných ztrátách budovy [23]

#### 4.3.1 Měření vzduchotěsnosti

Měření průvzdušnosti se provádí tzv. Blowerdoor testem, Obr. 10. Zkouška spočívá v opakovaném měření průtoku vzduchu netěsnostmi, při známém tlakovém rozdílu, který je vyvolán uměle ventilátorem. Výsledky se zpracovávají pomocí softwaru, pro správnost výsledku by se měly provádět dva testy, a to při podtlaku a přetlaku v budově. [11]





Obr. 10 Blowerdoor test [11]

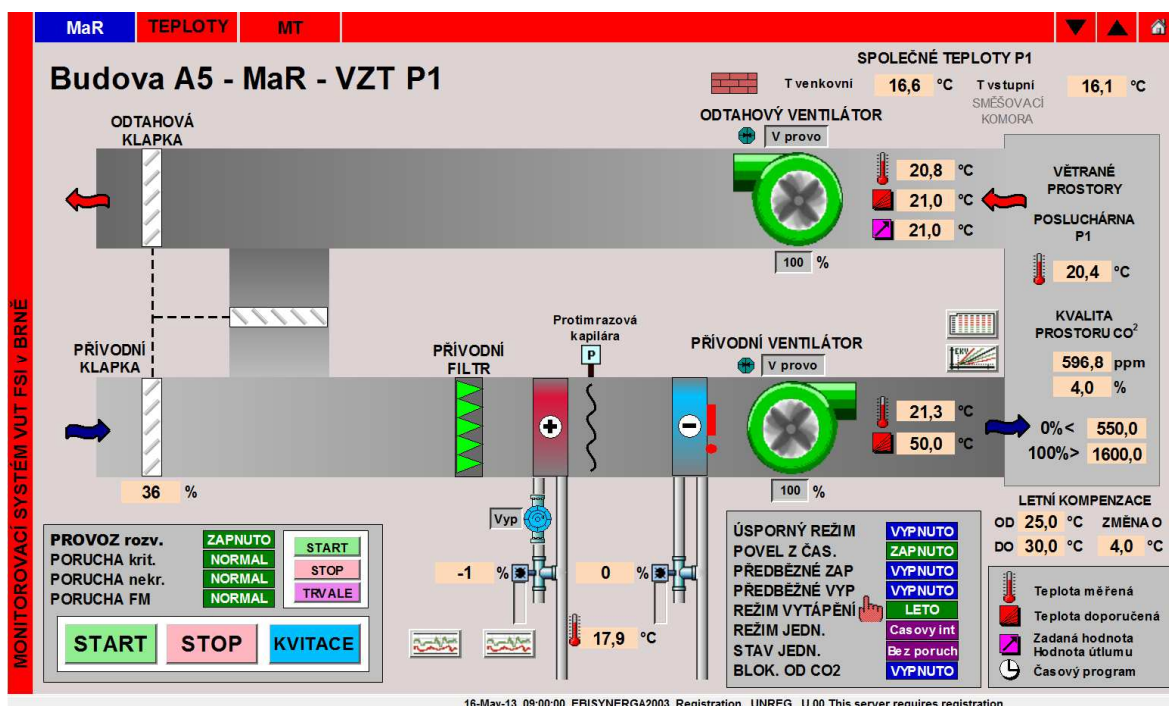
#### 4.4 Řízené větrání na základě koncentrace CO<sub>2</sub>

Jednou z možností jak snižovat energetickou náročnost větrání je přívod pouze potřebného množství vzduchu. Řízení může být prováděno na základě koncentrací různých nežádoucích látek nacházejících se v ovzduší. V obytných či administrativních budovách se nejčastěji řízení provádí na základě koncentrace oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>). CO<sub>2</sub> jakožto produkt lidského metabolismu je vhodným ukazatelem znečištění vzduchu pro zmíněné typy prostor.

Pro řízené větrání na základě koncentrace CO<sub>2</sub> je ovšem nezbytné měření množství CO<sub>2</sub> ve vzduchu. Nejčastěji se používají infračervené snímače, které fungují na principu absorpce elektromagnetického záření. CO<sub>2</sub> má schopnost absorbovat infračervené záření. Infračervené snímače detekují rozdíl mezi vyslaným a přijatým infračerveným zářením. Z tohoto rozdílu, který absorbovaly molekuly CO<sub>2</sub>, poté určíme koncentraci CO<sub>2</sub>. [17]

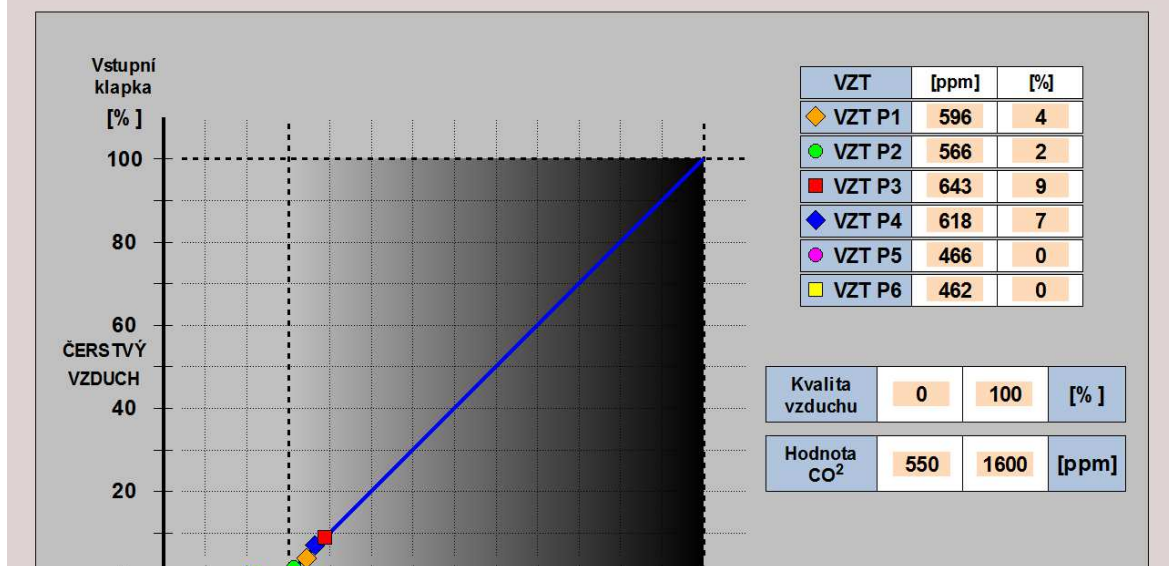
Větrání můžeme provádět kontinuálně nebo přerušovaně. Při přerušovaném větrání nastavíme horní hranici koncentrace CO<sub>2</sub> např. na 1000 ppm a dolní hranici na 500 ppm. Při dosažení horní hranice ventilátor sepne a pracuje až do doby než koncentrace klesne pod dolní hranici. Tento proces se poté neustále opakuje. Jedná se o jednoduchý způsob řízení, nepotřebujeme regulovat otáčky motoru ventilátoru.

Při kontinuálním větrání je podle koncentrace CO<sub>2</sub> zvyšováno množství přiváděného čerstvého vzduchu. Toho můžeme dosáhnout např. zvýšením otáček ventilátoru, který musí být poháněn motorem s regulací otáček. Další možností je regulace přiváděného vzduchu pomocí klapek. Tento způsob se využívá v posluchárnách VUT FSI v Brně, schéma monitorovacího systému je zobrazeno na Obr. 11. Celý systém je řešen jako recirkulační, zároveň slouží jako teplovzdušné vytápění pro zimní období a klimatizace v letním období. Na Obr. 12 je zobrazena křivka CO<sub>2</sub>, podle této závislosti jsou kontinuálně řízeny klapky pro přívod a odvod vzduchu. Pokud je koncentrace CO<sub>2</sub> nižší než 550 ppm jsou klapky zavřené a vzduch pouze cirkuluje systémem. Při zvyšování koncentrace se klapky otevírají až do hodnoty 1600 ppm, kdy jsou klapky plně otevřeny.



Obr. 11 Monitorovací systém VUT FSI v Brně

## Křivka CO<sub>2</sub> pro posluchárny P1 - P6



Obr. 12 Křivka CO<sub>2</sub> pro posluchárny

## 4.5 Jednotky s rekuperačním výměníkem

Další možností pro snížení energetické náročnosti větrání je zpětné získávání tepla (ZZT) z odpadního vzduchu. Jednotky, které umožňují ZZT jsou vybaveny výměníky, které můžeme rozdělit na rekuperační a regenerační. U rekuperačních výměníků se přenáší pouze teplo. Odváděný znečištěný vzduch je přes stěnu oddělen od vzduchu přiváděného, a tudíž nedochází k přenosu hmoty. Z tohoto důvodu jsou

rekuperační výměníky vhodné i pro průmyslové prostory, kde se odvádí znečištěný vzduch.

Důležitou hodnotou pro charakteristiku rekuperačních výměníků je jejich účinnost, výrobci nejčastěji udávají koeficient teplotní účinnosti  $\varphi$ , který je dán rovnicí 4.2.

$$\varphi = \frac{t_{e2} - t_{e1}}{t_{i1} - t_{e1}} \quad [-] \quad (4.2)$$

kde	$t_{e1}$	[°C]	je teplota přiváděného vzduchu před výměníkem
	$t_{e2}$	[°C]	je teplota přiváděného vzduchu za výměníkem
	$t_{i1}$	[°C]	je teplota odváděného vzduchu před výměníkem

Účinnost je tedy definována pouze rozdílem teplot, nicméně na ni má vliv průtok vzduchu nebo kondenzace vzdušné vlhkosti.

Rozlišujeme několik druhů rekuperačních výměníků, které se liší konstrukčním provedením, či principem přenosu tepla. [13]



Obr. 13 Jednotka s rekuperačním výměníkem [24]

#### 4.5.1 Trubkové rekuperační výměníky

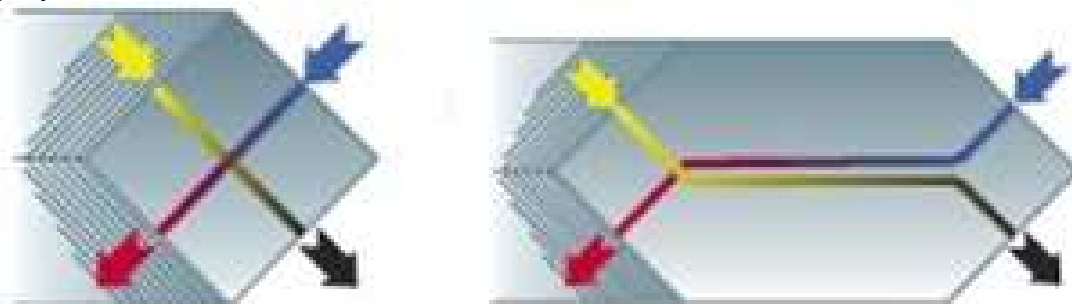
Trubkové rekuperační výměníky jsou svým konstrukčním provedením považovány za jednoduché. Teplosměnnou plochou je svazek trubek. Těmito trubkami ve většině případů prochází odpadní vzduch, přívodní vzduch proudí okolo trubek. Trubkové výměníky ovšem z důvodu malé teplosměnné plochy nedosahují vysokých účinností, ta se pohybuje v rozmezí 30 až 50%. Nicméně jsou poměrně snadno čistitelné, a proto vhodné např. do průmyslového prostředí. [14]

#### 4.5.2 Deskové rekuperační výměníky

Deskové rekuperační výměníky jsou v současné době v ČR velmi rozšířeným typem, který se využívá u jednotek se ZZT. Své uplatnění nacházejí především

v zařízeních s relativně malým průtokem vzduchu. Jedná se především o domácnosti či malé provozovny. [15]

Deskové rekuperační výměníky rozdělujeme na dva druhy, které se liší uspořádáním směru proudu vzduchu. Jsou to výměníky s křížovým proudem a výměníky protiproudé. Křížové výměníky mají účinnost v rozmezí 40 až 80%, nicméně jsou menších a kompaktnějších rozměrů než výměníky protiproudé. Ty, ale mají vyšší účinnost, která může dosahovat až 95%. [15]



Obr. 14 Křížový a protiproudý deskový výměník [24]

#### 4.5.3 Tepelné trubice

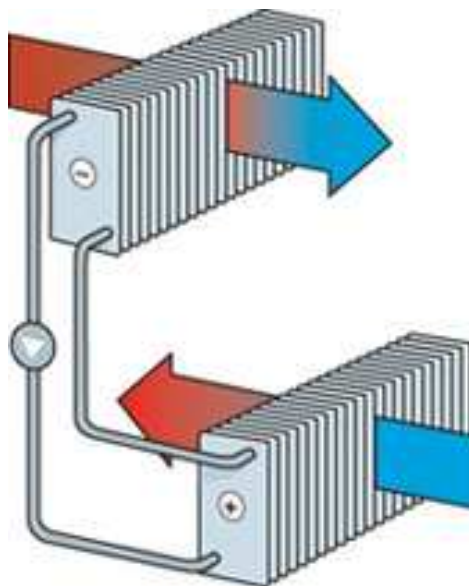
Tepelné trubice neboli „heat pipes“ jsou speciálním druhem trubkového výměníku. Princip spočívá v přirozeném oběhu chladiva, trubice je uzavřená a musí být umístěná vertikálně, ve spodní části je kapalina, která přijímá teplo z odpadního vzduchu a mění své skupenství. Páry stoupají do horní poloviny, kde kondenzují a předávají teplo proudícímu čistému vzduchu. Zkondenzovaná kapalina opět stéká do spodní poloviny a celý cyklus se neustále opakuje. Pro zlepšení přenosu tepla bývají tyto trubice na vnější straně (straně vzduchu) opatřeny žebry, čímž se zvyšuje teplosměnná plocha. Na vnitřní straně (straně chladiva) se pak mohou používat různé povrchové úpravy zlepšující odpařování chladiva např. smáčivé povrchy. Využití výměníku s tepelnými trubicemi je výhodné např. při větrání kuchyní, kde je vzduch značně znečištěn organickými látkami, mastnotou. [14]



Obr. 15 Tepelná trubice [25]

#### 4.5.4 Výměníky s kapalinovým okruhem

Systémy ZZT s kapalinovým okruhem jsou tvořeny dvěma výměníky vzduch-voda. Jeden je umístěn na straně odváděného vzduchu a druhý na straně přiváděného vzduchu. Oba výměníky jsou spojeny kapalinovým okruhem, kde proudí nemrznoucí směs. Účinnost těchto systémů je poměrně nízká (30-50)%. Nicméně tento systém větrání patří mezi nejbezpečnější, co se týče přenosu škodlivin. Další výhodou je, že potrubí přiváděného a odváděného vzduchu může být od sebe vzdáleno na větší vzdálenosti. [14]



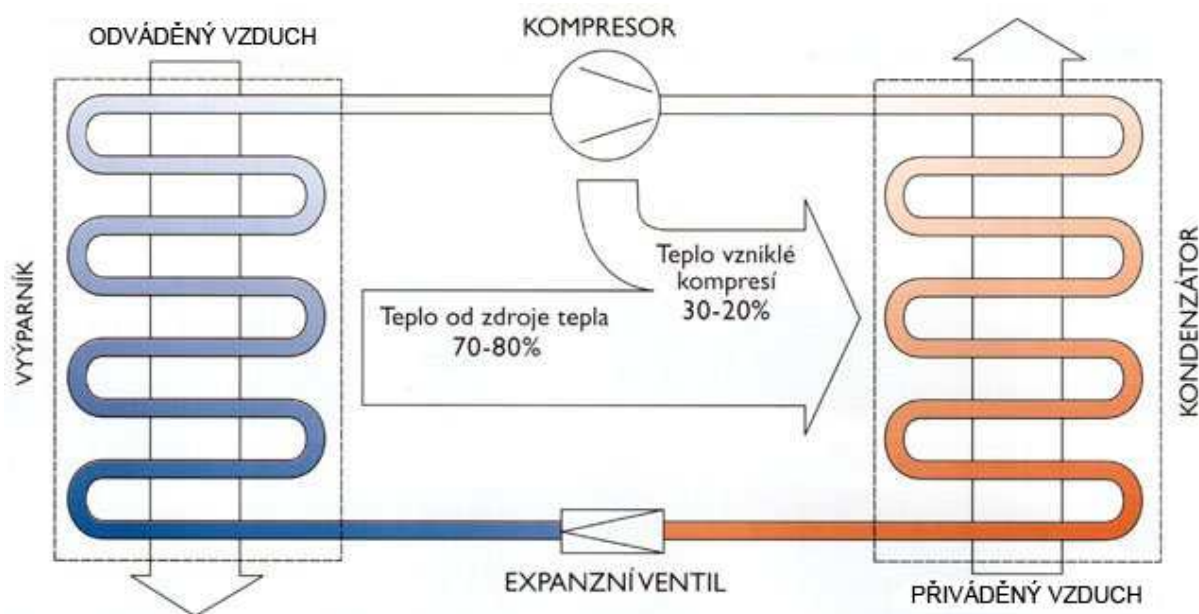
Obr. 16 Výměník s kapalinovým okruhem [27]

#### 4.5.5 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla pracují na principu uzavřeného kapalinového okruhu. Na straně odváděného vzduchu je výparník, který odebírá proudícímu vzduchu teplo. Kapalina ve výparníku se vypařuje, mění své skupenství. Poté je plynná látka stlačena kompresorem. Plyn o vysokém tlaku poté kondenzuje v kondenzátoru a předává teplo přiváděnému vzduchu. Celý okruh je uzavřen přes škrtkovací ventil.

Tepelná čerpadla jsou poměrně nákladná zařízení, nicméně z principu tepelného čerpadla lze přiváděný vzduch ohřát na teplotu vyšší, než je teplota odváděného vzduchu. Lze je použít také jako klimatizační zařízení. [28]





Obr. 17 Princip tepelného čerpadla [29]

## 4.6 Jednotky s regeneračním výměníkem

Při větrání objektů v zimních měsících dochází k výraznému snížení relativní vlhkosti vzduchu. Pokud např. nasáváme vzduch o teplotě  $-5^{\circ}\text{C}$  a relativní vlhkosti 80% a tento vzduch ohřejeme na  $20^{\circ}\text{C}$ , pak relativní vlhkost klesne přibližně na hodnotu 15%. Z toho vyplývá, že může dojít k vysoušení vzduchu, což vede ke snížení kvality vnitřního prostředí, v krajních případech až k dýchacím potížím. Vzduch tedy musíme nějakým způsobem zvlhčovat. Jedna možnost je použití zvlhčovačů, nebo můžeme využít větracích jednotek s regeneračním výměníkem. Jednotky s regeneračním výměníkem jsou schopny předávat tepelnou energii, ale také vlhkost. Teplotní účinnost regeneračních výměníků je definována stejně jako u výměníků rekuperačních rovnicí 4.2. U regeneračních výměníků je důležitá i vlhkostní účinnost  $\psi$ , kterou popisuje rovnice 4.3.

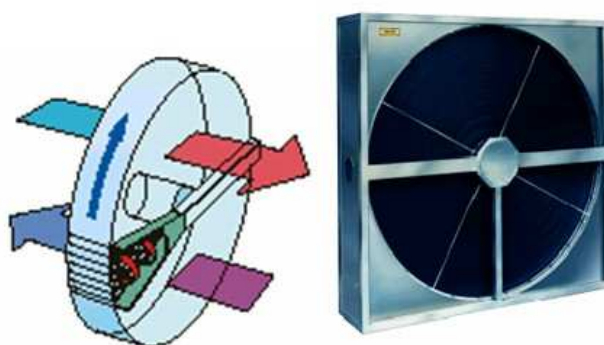
$$\varphi = \frac{x_{e2} - x_{e1}}{x_{i1} - x_{e1}} \quad [-] \quad (4.2)$$

kde  $x_{e1}$  [g/kg] je měrná vlhkost přiváděného vzduchu před výměníkem  
 $x_{e1}$  [g/kg] je měrná vlhkost přiváděného vzduchu za výměníkem  
 $x_{i1}$  [g/kg] je měrná vlhkost odváděného vzduchu před výměníkem

Nevýhodou těchto výměníků je ovšem to, že je nelze použít při větrání objektů, kde se pracuje se zdraví škodlivými látkami. [13]  
 Rozlišujeme několik druhů regeneračních výměníků, kterými mohou být např. rotační výměník, membránový výměník nebo přepínací výměník.

#### 4.6.1 Rotační výměníky

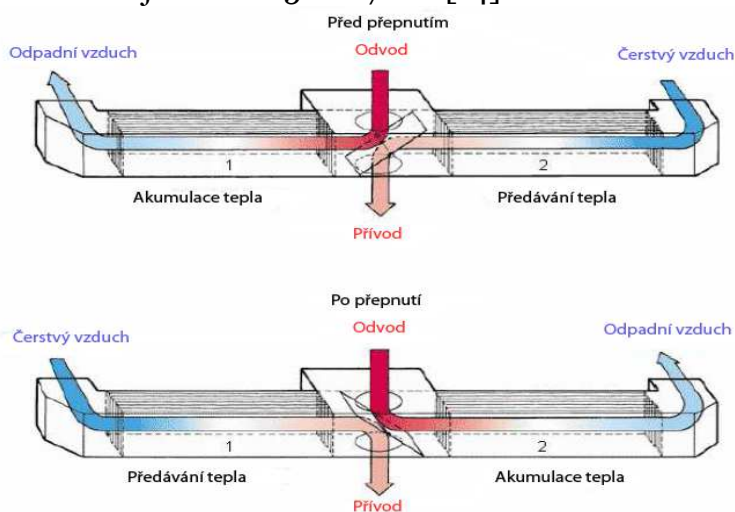
Rotační výměníky mají tvar válce, uvnitř kterého se nacházejí kanálky, kterými může proudit vzduch. Celý výměník rotuje mezi proudem odváděného a přiváděného vzduchu. Rotor je umístěn v rámu a je poháněn elektromotorem. Co se týče materiálů, tak se teplosměnná plocha vyrábí z plechu, plastu nebo tvrzené papíroviny, na povrch se může nanášet hydroskopická hmota, která zajišťuje přenos vlhkosti. Teplotní účinnost rotačního výměníku se pohybuje mezi 60 až 80 %, účinnost přenosu vlhkosti u výměníku bez hydroskopické hmoty je 10 až 20%, pokud je nanesena hydroskopická hmota tak se účinnost zvyšuje na 60 až 70%. Rotační výměníky jsou snadno regulovatelné, většina z nich je poháněna elektromotorem s plynulou změnou otáček. [14]



Obr. 18 Rotační výměník [14]

#### 4.6.2 Přepínací výměníky

U přepínacího výměníku na rozdíl od rotačního zůstává akumulací hmoty ve stejné poloze, mění se tedy pouze směr proudění vzduchu. Přepínací výměníky obsahují soustavu klapek, které mechanicky „přepínají“ směry přiváděného a odváděného vzduchu. Tyto výměníky jsou ovšem složité na konstrukci, nicméně dosahují poměrně dobrých účinností, teplotní účinnost se pohybuje mezi 60 až 90%, vlhkostní účinnost dosahuje hodnot 50 až 70%. [14]

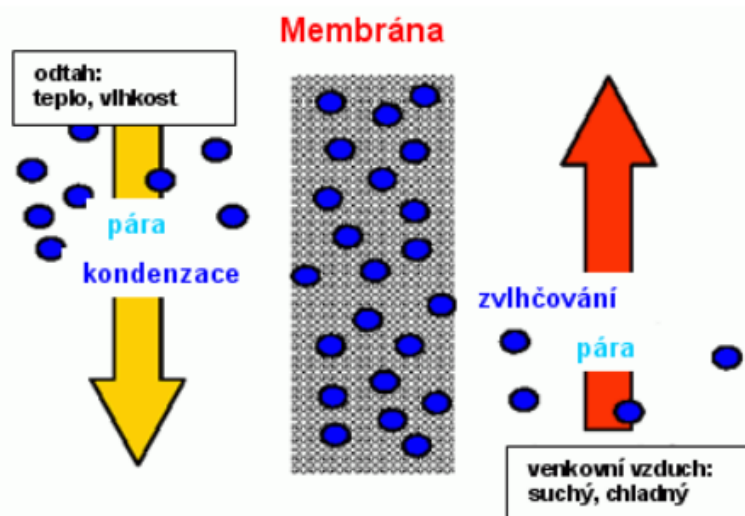


Obr. 19 Přepínací výměník [26]

### 4.6.3 Membránové výměníky

U membránového výměníku jsou jednotlivé proudy odváděného a přiváděného vzduchu odděleny membránou. Tato membrána obsahuje vysoké množství soli a absorbuje vzdušnou vlhkost. Molekuly vody poté na základě osmotického principu pronikají membránou z místa o vyšší vlhkosti do místa o nižší vlhkosti, viz Obr. 20. [16]

Membrána je uzpůsobena pro absorpci molekul vody, minimalizuje přenos nepolárních molekul a díky vysoké koncentraci soli funguje antibakteriálně. Otázkou je životnost těchto výměníků, výrobce Paul předpokládá životnost 15 let, nicméně větší využívání v domácnostech nastalo až v roce 2005. [16]



Obr. 20 Princip membránového výměníku [16]

## 4.7 Filtrace vzduchu

K vytvoření kvalitního vnitřního prostředí je důležité, mimo jiné, zachovat dostatečnou čistotu vnitřního ovzduší, zejména pak pro alergiky je pro život čistý vzduch nezbytný. Jedním ze způsobů odstranění škodlivin (především pevných částic) ze vzduchu je filtrace vzduchu, která zároveň slouží k ochraně větracích zařízení, zejména pak ventilátorů a výměníků tepla. Filtry atmosférického vzduchu jsou nedílnou součástí každého větracího zařízení.

Vzduchové filtry slouží k odstranění mechanických a biologických částic větraného vzduchu. Podle dosažených filtračních parametrů můžeme filtry rozdělit do několika tříd, které jsou uvedeny v Tab. 4 a v Tab. 5. [5], [7]

Tab. 4 Klasifikace hrubých a jemných filtrů [5]

Skupina filtru	Třída filtrace	Příklad odloučeného materiálu
<b>G</b> Filtry pro hrubý prach částice >10µm	G1	listy, hmyz, textilní vlákna, písek, vodní kapky, vlasy
	G2	
	G3	květní pyl, mlha
	G4	



<b>F</b> Filtry pro jemný prach částice > 1 μm	F5	výtrusy, cementový prach
	F6	bakterie
	F7 F8	nahromaděné saze, respirabilní prach
	F8 F9	hrubé frakce tabákového kouře, olejový kouř

Tab. 5 Klasifikace HEPA a ULPA filtrů [5]

Skupina filtru	Třída filtrace	Příklad odloučeného materiálu
<b>H</b> Filtry pro mikročástice částice > 1 μm	H10 H11	Zárodky, bakterie, tabákový kouř, viry na nosném aerosolu
	H12	olejový kouř, mikročástice aerosolu
	H13	radioaktivní aerosol
	H14	mikročástice aerosolu, viry
<b>U</b> Filtry pro mikročástice	U15 U16 U17	mikročástice aerosolu

Při vysokých požadavcích na čistotu vzduchu se používají vícestupňové filtrace. Tzn., že nejdříve použijeme vstupní filtr hrubých částic (G), na výstupu z větrací jednotky použijeme filtr na jemné částice (F) a před vyústěním do větraného prostoru použijeme HEPA filtr (H). Zmíněné typy filtrů jsou neregenerovatelné a po zanesení je nutná jejich výměna. [5]

Další skupinou filtrů jsou filtry s aktivním uhlím. Aktivní uhlí má schopnost absorbovat pachy a škodlivé látky, např. sirovodík, čpavek, formaldehyd. Pro zvýšení účinnosti těchto filtrů se provádí impregnace speciálními chemickými látkami. Po zanesení filtrů s aktivním uhlím je možné je reaktivovat, a to horkým plynem o teplotách cca 850°C. Rozdělení filtrů s aktivním uhlím je uvedeno v Tab. 6. [5]

Tab. 6 Klasifikace filtrů s aktivním uhlím [5]

Skupina filtru	Třída filtrace	Příklad odloučeného materiálu
<b>GF</b> Filtry s aktivním uhlím	Aktivní uhlí bez impregnace	těkavé organické látky, asfaltové a dehtové výpary, tělesné pachy
	Aktivní uhlí s impregnací	Oxidy síry a dusíku, chloridy, rozpouštědla, tabákový kouř

Filtraci vzduchu můžeme využít i z hlediska snížení energetické náročnosti větrání. Např. v pracovním prostředí můžeme vracet vzduch zpět na pracoviště, je ovšem nutné, abychom splnili přípustné koncentrace škodlivin, které jsou dány nařízením vlády č. 178/2001 Sb.

## 5 ZÁVĚR

S rostoucími cenami energií jsou kladeny požadavky na snižování energetické náročnosti provozu budov. V současnosti se budovy tepelně izolují a snižují se tak ztráty vzniklé prostupem tepla. Provádí se výměny starých oken za nové, které jsou těsnější a snižuje se tak množství větraného vzduchu, způsobené infiltrací. Tento fakt v zásadě ničemu nevaadí, naopak je to pozitivní faktor, protože větrání infiltrací nejde nijak regulovat. Na druhou stranu se ale zapomíná na větrání jako takové a v mnoha případech uživatel snižuje intenzitu větrání na minimum, aby zabránil tepelným únikům souvisejících s větráním, což vede ke zhoršení kvality vnitřního prostředí.

V dnešní době ovšem existuje mnoho způsobů, jak snížit náklady související s větráním a přitom zachovat dostatečně kvalitní vnitřní prostředí. Z hlediska optimalizace je nutné, si nejdříve uvědomit jaký prostor či budovu chceme větrat a jakých podmínek chceme dosáhnout.

Jednou z možností je větrat řízeně na základě koncentrace škodlivých látek, které mohou být jak produktem lidského metabolismu, tak produktem průmyslové výroby.

V případě administrativních budov, škol či nemocnic kde je vysoký počet lidí na  $1\text{m}^2$  plochy je výhodným ukazatelem znečištěného vzduchu oxid uhličitý. Řízené větrání na základě koncentrace  $\text{CO}_2$  může významně snížit energetickou náročnost větrání. Jako příklad bych uvedl posluchárnu, která má kapacitu 100 osob. Minimální množství větraného vzduchu je  $25\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  na osobu. Z toho vyplývá, že systém větrání musí být dimenzován minimálně na průtok vzduchu  $2500\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ , aby bylo zajištěno dostatečné větrání při plně obsazené posluchárně. Ve většině případů ovšem tento prostor nebývá plně obsazen, a pokud by byla přítomna polovina, 50 osob, je potřeba přivádět pouze  $1250\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  vzduchu. Z tohoto důvodu je nutné regulovat množství přiváděného vzduchu. Regulace větrání podle počtu osob by se obtížně automatizovala, proto je vhodné řízení na základě koncentrace  $\text{CO}_2$ . Důležitými prvky při řízeném větrání jsou snímače  $\text{CO}_2$ . Ty jsou poměrně přesné a cenově dostupné.

Pokud se jedná o řízené větrání průmyslových objektů, je důležité určit škodlivinu, která kvalitu vnitřního prostředí primárně ovlivňuje. Ve výrobních halách to nejčastěji bývají produkty spojené s výrobou.

Další možností jak snížit spotřebu energie spojenou s větráním je využití zpětného získávání tepla, které lze použít u většiny budov. Důležité je ovšem k jakému účelu daná budova slouží a podle toho volit systém větrání. ZZT je realizováno tepelnými výměníky, které rozdělujeme na rekuperační a regenerační.

Systémy větrání s rekuperačními výměníky lze využít pro řadu objektů a můžeme s nimi větrat i znečištěný vzduch. Rekuperační výměníky se liší konstrukcí a účinnostmi. Deskové výměníky mají poměrně vysokou účinnost (až 90%), nicméně vzhledem k jejich konstrukci nejsou vhodné pro výrazně znečištěný odpadní vzduch, ve velké míře se používají v rodinných domech či bytech. Trubkové výměníky se dají lépe čistit, ovšem jejich účinnost je oproti deskovým výměníkům nižší, z důvodu menší teplosměnné plochy. Využívají se zejména v průmyslových halách. Tepelné trubice je vhodné použít např. pro větrání závodních kuchyní, kde je odpadní vzduch značně znečištěn organickými látkami a mastnotou. Při použití tepelných čerpadel můžeme větráním budovu částečně dotápat v zimním období a chladit v letním období. Nicméně pořizovací náklady na tepelná čerpadla jsou poměrně vysoké.

Systémy větrání s regeneračním výměníkem jsou schopny nejen zpětného zisku tepla, ale také zpětného zisku vlhkosti. Nevýhodou je, že tyto druhy výměníků

umožňují pronikání odpadní vzduchu do vzduchu přívodního. To neplatí u membránových výměníků, nicméně membránové výměníky mají výrazně nižší životnost. Použití regeneračních výměníků je možné u mnoha typů budov neprůmyslového charakteru. Jedná se o administrativní budovy, školy, divadla, rodinné domy, bytové jednotky a jiné. Regenerační jednotky mají tepelnou účinnost až 90%, navíc jsou schopny předávat vlhkost, což také snižuje energetické nároky spojené s větráním, protože již není nutné řešit vlhčení větraného vzduchu.

Snižovat množství energie při větrání lze i filtrací vzduchu. Znečištěný vzduch se přefiltruje a následně opět vrátí do větraného prostoru. Tento způsob se ovšem v současné době ve velké míře nepoužívá.

Z hlediska maximální úspory energie vynaložené na větrání budov je tedy důležitá kvalitně zpracovaná, těsná obálka budovy a vhodná kombinace zmíněných systémů větrání. Jedná se tedy o použití řízeného větrání, kde minimalizujeme množství větraného vzduchu, a zpětného získávání tepla, čímž snižujeme náklady potřebné na dohřátí, popřípadě chlazení větraného vzduchu.

## Seznam použitých informačních zdrojů

- [1] Pasivní domy – kvalita vnitřního prostředí [online]. c2006-2012 [vid. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/pasivni-dum/vnitрни-prostredi-domu/kvalita-vnitрниho-prostredi.html?chapter=hodnoceni-kvality-vnitрниho-prostredi>
- [2] Pasivní domy – kvalita vnitřního prostředí [online]. c2006-2012 [vid. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/pasivni-dum/vnitрни-prostredi-domu/kvalita-vnitрниho-prostredi.html?chapter=vune-a-zapachy>
- [3] Jak a proč správně větrat? – TZB-info [online]. c2001-2013 [vid. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/vetrani-okny/8925-jak-a-proc-spravne-vetrat>
- [4] CHYSKÝ Jaroslav, HEMZAL Karel a kol. Větrání a klimatizace: technický průvodce. 3. vydání. Praha: Česká matice technická, 1993. Soustavy větracích a klimatizačních zařízení, s. 343-383. ISBN 80-901574-0-8
- [5] RUBINOVÁ Olga a kol. A10 – Navrhování vnitřního prostředí budov dle principů trvale udržitelné výstavby – větrání a klimatizace. 2012. Brno: Národní stavební centrum s.r.o. 2012. 81 s. ISBN 978-80-87665-09-1
- [6] DUFKA, Jaroslav. Větrání a klimatizace domů a bytů. 2002. Praha: Grada Publishing, a. s., 2002. 104 s. ISBN 80-247-0222-3
- [7] SZÉKYOVÁ, Marta, Karol FERSTL a Richard NOVÝ. *Větrání a klimatizace*. 1. vyd. Bratislava: Jaga, 2006, 359 s. ISBN 80-8076-037-3
- [8] CONCANNON, Peter. *Technická zpráva AIVC 57: Větrání bytových domů*. Dostupné z: [http://www.aivc.cz/TN57\\_VetraniBytovychDomu.pdf](http://www.aivc.cz/TN57_VetraniBytovychDomu.pdf)
- [9] Význam měření vzduchotěsnosti: Asociace Blower Door\_CZ [online]. c2011 [vid. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.asociaceblowerdoor.cz/vyznam-mereni-vzduchotesnosti-1-29.html>
- [10] Požadavky na vzduchotěsnost: Asociace Blower Door\_CZ [online]. c2011 [vid. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.asociaceblowerdoor.cz/pozadavky-na-vzduchotesnost-1-30.html>
- [11] Stručný popis měření: Asociace Blower Door\_CZ [online]. c2011 [vid. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.asociaceblowerdoor.cz/strucny-popis-mereni-1-21.html>
- [12] Tepelně vlhkostní zátěž budov [online]. C2011 [vid. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.fce.vutbr.cz/TZB/rubinova.o/prednasky/vzto2.pdf>

- [13] Zpětné získávání tepla ve vzduchotechnice [online]. c2006-2013 [vid. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.qpro.cz/ZZT-rekuperace-regenerace>
- [14] LAIN Miloš, Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci (II). TZB-info [online]. 2006 [vid. 2013-05-15]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3688-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-ii>
- [15] LAIN Miloš, Zpětné získávání tepla ve větrání a klimatizaci (I). TZB-info [online]. 2006 [vid. 2013-05-15]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3648-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-i>
- [16] PAUL - rekuperace tepla [online]. C2007 [vid. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.paul-rekuperace.cz/pdf/Zpetny%20zisk%20vlhkosti.pdf>
- [17] ČERNÍK, V. Větrání budov řízené na základě koncentrace škodlivin ve vzduchu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Charvát, Ph.D.
- [18] Vytápěný prostor a varianty návrhu otopných těles [online]. C2001-2013 [vid. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/5936-vytapeny-prostor-a-varianty-navrhu-otopnych-teles>
- [19] Přirozené větrání, jeho druhy a aplikace [online]. C2011 [vid. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.fce.vutbr.cz/TZB/rubinova.o/prednasky/vzt03.pdf>
- [20] Index of /~schwajan/schwarzer\_soubory/Soubory/Aerace [online]. [vid. 2013-05-15]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/~schwajan/schwarzer\\_soubory/Soubory/Aerace/aerace.GIF](http://users.fs.cvut.cz/~schwajan/schwarzer_soubory/Soubory/Aerace/aerace.GIF)
- [21] Rekonstrukce větracích systémů bytových domů [online]. C2001-2013 [vid. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/5969-rekonstrukce-vetracich-systemu-bytovych-domu>
- [22] Systému větrání obytných budov [online]. C2001-2013 [vid. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu/7937-systemy-vetrani-obytnych-budov>
- [23] Pasivní domy - Neprůvzdušnost, zkoušky kvality [online]. c2006-2012 [vid. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/tepelnaochrana/nepruvzdusnost-zkousky-kvality.html?chapter=zakladni-pozadavky-na-pruvzdusnost>
- [24] Oceněná kompaktní rekuperační jednotka EHR 325 Ekonovent [online]. C2001-2013 [vid. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/7371-veletrh-shk-2011-mimoradne-uspesny-pro-elektrodesign-ventilatory-spol-s-ro>

- [24] Větrací jednotky firmy Nativa [online]. C2001-2013 [vid. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4154-vecraci-jednotky-firmy-nativa>
- [25] Vyměníky tepla - Thermax - GB Consulting [online]. C2010 [vid. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.gbconsulting.cz/vymeniky-tepla.html>
- [26] DVOULETY, T. *Rozbor různých způsobů zpětného získávání tepla při větrání*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 36 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Charvát, Ph.D.
- [27] Energy Recovery Systems | Luvata [online]. C2013 [vid 2013-05-21] Dostupné z: <http://www.luvata.com/en/Products/Heat-Transfer-Solutions/Heat-Exchangers/Energy-Recovery-Systems/>
- [28] ZIKÁN Zdeněk, Zpětné získávání a větrání objektů TZB-info [online]. 2001-2013 [vid. 2013-05-21]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/rekuperace-tepla/6325-zpetne-ziskavani-tepla-a-vetrani-objektu>
- [29] Tepelná čerpadla pro rodinné domy [online]. C1995-2013 [vid 2013-05-21] Dostupné z: <http://www.carrierpm.cz/tepelna-cerpadla/rodinne-domy-zeme-voda/rada-3onqc-e/>

## Seznam použitých symbolů a zkratk

$\dot{V}_p$	$[m^3 s^{-1}]$	průtok přiváděného vzduchu
$\dot{V}_o$	$[m^3 s^{-1}]$	průtok odváděného vzduchu
$\dot{Q}_e$	[W]	tepelné ztráty
$\rho$	$[kg m^{-3}]$	hustota vzduchu
$c$	$[kg J^{-1} K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita vzduchu
$t_e$	[°C]	teplota vzduchu odváděného
$t_i$	[°C]	teplota vzduchu přiváděného

AIVC	Air infiltration and ventilation center – centrum větrání a infiltrace budov
cca	Cirka
č.	Číslo
ČSN	Česká státní norma
EÚ	Energetický ústav
FSI	Fakulta strojního inženýrství
HEPA	High efficiency penetration air – vysoce účinný aerosolový filtr
NPK-P	Nejvyšší přípustná koncentrace

---

obr.	Obrázek
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development - Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj
OTTP	Odbor termomechaniky a techniky prostředí
PEL	Přípustný expoziční limit
Sb.	Sbírky
tab.	Tabulka
ULPA	Ultra low penetration air – nejvýše účinný aerosolový filtr
VUT	Vysoké učení technické
ZZT	Zpětné získávání tepla

## Seznam obrázků

Obr. 1	Vertikální rozložení teplot v místnosti [18] .....	12
Obr. 2	Vliv teploty a vlhkosti [2] .....	13
Obr. 3	Grafická závislost procenta nespokojených uživatelů na rychlosti proudění vzduchu [7] .....	14
Obr. 4	Pronikání vzduchu spárkou okna [19] .....	18
Obr. 5	Větrání aerací [20] .....	19
Obr. 6	Šachtové větrání [21] .....	19
Obr. 7	Nucené rovnotlaké větrání vzduchu realizované větrací jednotkou se ZZT [22] .....	21
Obr. 8	Rozdělení spotřeby na energetické systémy spotřebovávající teplo pro střední Evropu [5] .....	22
Obr. 9	Vliv hodnoty n50 na tepelných ztrátách budovy [23] .....	24
Obr. 10	Blowerdoor test [11] .....	25
Obr. 11	Monitorovací systém VUT FSI v Brně .....	26
Obr. 12	Křivka CO <sub>2</sub> pro posluchárny .....	26
Obr. 13	Jednotka s rekuperačním výměníkem [24] .....	27
Obr. 14	Křížový a protiproudý deskový výměník [24] .....	28
Obr. 15	Tepelná trubice [25] .....	28
Obr. 16	Výměník s kapalinovým okruhem [27] .....	29
Obr. 17	Princip tepelného čerpadla [29] .....	30
Obr. 18	Rotační výměník [14] .....	31
Obr. 19	Přepínací výměník [26] .....	31
Obr. 20	Princip membránového výměníku [16] .....	32

## Seznam tabulek

Tab. 1	Prahové koncentrace odérů [7].....	15
Tab. 2	Přípustné expoziční limity a nejvyšší přípustné koncentrace chemických látek v ovzduší pracovišť dle Nařízení vlády č. 178/2001 Sb. [7].....	16
Tab. 3	Doporučené hodnoty $n_{50,N}$ [10].....	23
Tab. 4	Klasifikace hrubých a jemných filtrů [5] .....	32
Tab. 5	Klasifikace HEPA a ULPA filtrů [5].....	33
Tab. 6	Klasifikace filtrů s aktivním uhlím [5].....	33